

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА BIG DATA В УПРАВЛЕНИИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е.В.Потапова
НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Подземное строительство на современном этапе переживает новые подходы к проектированию и созданию подземных объектов. Особенно ярко это проявляется в метростроении. Строительство объектов метрополитена всегда сопровождается нестабильностью внешней среды, приводящей к развитию геотехнических рисков. Для того, чтобы иметь возможность управлять разрозненными и зачастую хаотичными данными о потенциальной опасности на всех стадиях жизненного цикла подземного объекта, требуется привлечение информационного ресурса Big Data. Еще несколько лет назад этот ресурс не имел практического значения в метростроении и использовался только для научного анализа. Однако объемы данных о внешней среде росли, и проблема огромных массивов неструктурированной и неоднородной информации стала актуальной в применении к подземному строительству. Для подземного строительства особый интерес в Big Data представляет имитационное моделирование из-за огромного разнообразия и числа данных, которые можно собрать в среде BIM, а также возможности их быстрого анализа. При этом проектировщик получает модель, способную функционировать аналогично реальному подземному объекту, что существенно снижает количество проектных ошибок и недостоверных расчетов, сокращает время на проектирование. Осуществление такого моделирования и проведение мониторинга на участке строительства дает уникальный шанс контролировать все необходимые параметры – от оптимального варианта технологического решения до способов минимизации геотехнических рисков. Обзор возможности привлечения Big Data для целей управления геотехническими рисками в метростроении и приведен в данной статье. В обзоре учитываются результаты разработанной автором методики управления геотехническими рисками на основе Big Data. Приведено сравнение использования BigData и традиционного архива. Рассмотрены современные инструменты для работы с «большими данными».

Ключевые слова: Big Data, информационный ресурс, анализ, рискообразующие факторы, геотехнические риски, управление рисками, архив рисков, информационное моделирование.

Для цитирования: Потапова Е.В. Перспективы использования информационного ресурса Big Data в управлении геотехническими рисками при строительстве объектов метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 155–163. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-155-163.

Prospects for the big data information resource in geotechnical risks control during the metro facilities construction

E.V. Potapova

NUST «MISiS», Moscow, Russia

Abstract: Underground construction at the present stage is experiencing new approaches to the design and creation of underground facilities. This is especially evident in metro construction. The construction of metro facilities is always accompanied by the instability of the external environment, which leads to the development of geotechnical risks. In order to be able to manage disparate and often chaotic data about potential hazards at all stages of the life cycle of an underground facility, it is necessary to attract the information resource Big Data. Until a few years ago, this resource had no practical use in metro construction and was used only for scientific analysis. However, the volume of data on the external environment grew, and the problem of huge arrays of unstructured and heterogeneous information became relevant for use in underground construction. Simulation is of particular interest in Big Data for underground construction because of the huge variety and number of data that can be collected in a BIM environment, as well as the ability to quickly analyze them. At the same time, the designer receives a model that can function similarly to a real underground object, which significantly reduces the number of design errors and unreliable calculations, and reduces the time for design. The implementation of such modeling and monitoring at the construction site gives a unique chance to control all the necessary parameters—from the optimal technological solution to ways to minimize geotechnical risks. An overview of the possibility of using Big Data for geotechnical risk management in metro construction is given in this article. The review takes into account the results of the geotechnical risk management methodology developed by the author based on Big Data. A comparison of the use of BigData and a traditional archive is given. Modern tools for working with “big data” are considered.

Key words: Big Data, information resource, analysis, risk factors, geotechnical risks, risk management, risk archive, information modeling (BIM).

For citation: Potapova E.V. Prospects for the big data information resource in geotechnical risks control during the metro facilities construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):155-163. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-155-163.

Введение

Информация всегда представляла важнейший ресурс, без которого невозможно развитие общества. Она является мощным рычагом управления и формирования стратегии в любом виде человеческой деятельности. Неудачно, еще в 1815 г. Натан Ротшильд произнес легендарную фразу: «Кто владеет информацией — тот владеет миром». Информационный ресурс получил особый статус в современном обществе, характеризующемся высокой вероятностью развития рисков в производствен-

ной сфере. От полноты и грамотной подачи информации зависит весь ход управления рисками.

Геотехнические риски стали неотъемлемой частью такой отрасли подземного строительства, как строительство объектов метрополитена [1–3]. Спецификой этих объектов является высокая, особенно в часы пик, концентрация пассажиров в подземных помещениях, наличие находящихся под высоким напряжением протяженных транспортных систем, кабельного хозяйства, высокая пожарная нагрузка, наличие

развитой городской застройки на земной поверхности и т.п. Любая, даже незначительная чрезвычайная ситуация способна спровоцировать развитие неприемлемых рисков и человеческие жертвы [4, 5].

Информация сегодня — это решающий фактор в развитии «высоких» технологий подземного строительства. Поэтому определение роли, степени и уровня влияния информационных технологий на управление геотехническими рисками и обеспечение безопасности строительства метрополитена требует тщательного анализа источников информации, их достоверности и научной обоснованности. С усложнением условий строительства линий метрополитена и увеличением разрозненности данных, поступающих от задействованных в процессе строительства участников, на помощь приходит информационный ресурс Big Data, о котором и пойдет речь в данной обзорной статье.

Источники информации и ее подача для оценки геотехнических рисков на объектах метрополитена

Мировая практика показывает, что различные инциденты и аварии при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов происходят регулярно [6]. При благоприятном стечении обстоятельств по некоторым из них производится анализ и делаются выводы. Однако большинство рисков после ликвидации ущерба от их проявления остаются скрытыми и неоцененными. В этой связи возможности использования BigData открывают широкие перспективы. Автором были выполнены поисковые запросы в интернете и получены следующие результаты: «инцидент при проходке тоннеля» — 3 млн результатов, «авария при строительстве тоннеля» — 2 млн

результатов, «авария на стройке» — 1 млн результатов, «авария при проходке» — 746 тыс. результатов. При рассмотрении результатов выявлены следующие источники информации:

- новостные материалы отечественных и зарубежных СМИ,
- статьи научно-технических изданий,
- данные статистических отчетов надзорных органов,
- материалы научно-технических конференций, интервью специалистов,
- публикации на страницах пользователей социальных сетей и т. д.

Информация представлена в форме фото- и видеоматериалов, текста новостей, публикаций периодических изданий. Отдельным источником выступает «интернет вещей» (Internet of Things, IoT) [7, 8]. Отметим, что указанные данные разрознены, не структурированы и требуют обработки. На данном примере можно убедиться, что информация о проявлении геотехнических рисков, а также о мероприятиях по их снижению существует не только во внутренних архивах, но и регулярно появляется в различных источниках по всему миру. В то же время информация находится в «слепой зоне» аналитиков и не используется по определенным причинам.

Во-первых, это сложность преобразования данных в формат, подходящий для конкретной аналитической системы. Автором предложены методические основы управления геотехническими рисками на основе BigData [9, 10], согласно которой статистический риск представлен в виде значения, полученного из расчета числа возникновения аналогичной рискованной ситуации в заданный период. При использовании внутреннего архива можно рассчитывать на оперативное получение этого значения ввиду небольшого количества исходной информации

и наличия отработанного алгоритма ее анализа для представления выходных данных. В случае с BigData традиционные информационные процессы (обеспечение поступления данных; сбор, накопление и хранение; организация; визуализация и представление для пользователя) будут обладать спецификой объекта анализа и предметной области поиска информации. Наиболее сложной задачей в случае с геотехническими рисками при строительстве метрополитена станут сбор и анализ разнообразной неструктурированной информации.

Анализ эффективности сбора и структурирования информации для управления геотехническими рисками

Для максимально эффективного сбора информации необходимо:

- определить наиболее корректные формулировки запросов,
- правильно интерпретировать полученные данные,
- определять достоверность информации,
- выделять действительно ценную информацию,
- производить фильтрацию и структурирование полученных данных.

Вышеперечисленные пункты невозможно выполнить при отсутствии специальных инструментов, работа которых основана на машинном обучении, распознавании образов, нейронных сетях, предиктивной аналитике и т. д. Такими инструментами выступают существующие программно-аппаратные продукты: Oracle Big Data Appliance (Oracle) [11, 12], MapReduce (Google), Hadoop (ASF), Datameer и многие другие. Цикл обработки информации Big Data на примере инструментов компании Oracle приведен на **рис. 1** [13]. После того, как информация собрана

и структурирована, ее необходимо представить в удобном формате. Здесь выбор остается за аналитиком: получить статистику по рискам и самому завершить работу по определению значения степени проявления риска либо получить на выходе готовое значение. Организации, занимающиеся строительством объектов метрополитена, не обладают такими инструментами, так как это не связано напрямую с профилем их деятельности. С экономической точки зрения целесообразно поручать работу с BigData специализированным фирмам, которые настроят свои продукты под нужды заказчика. Дополнительные расходы в этом случае обоснованы, так как помогут избежать гораздо более серьезных финансовых потерь при компенсации ущерба, связанного с проявлением геотехнических рисков.

Во-вторых, это консервативность строительной отрасли для цифровизации и «индустрии 4.0». Результаты отчета Digital McKinsey [14] и опроса IBM Institute о направлениях использования Big Data в компаниях [15] свидетельствуют о малой доле (менее 10 %) использования больших данных в риск-менеджменте и о низком уровне цифровизации строительства по сравнению с другими отраслями (рис. 1).

Исключением является информационное моделирование (BIM) и использование технологий «интернета вещей» (IoT). Технологии IoT чаще всего находят применение уже на стадии эксплуатации подземного объекта, хотя именно в процессе строительства данные объединенных в единую систему устройств могут дать значительный объем информации для определения рискообразующих факторов, причин аварии/инцидента, сценариев развития аварийной ситуации. Возможная

схемы использования «больших данных» от источников IoT для анализа рисков при проходке перегонного тоннеля метрополитена механизированным тоннелепроходческим комплексом (ТПМК) приведена на рис. 2.

неля метрополитена механизированным тоннелепроходческим комплексом (ТПМК) приведена на рис. 2.

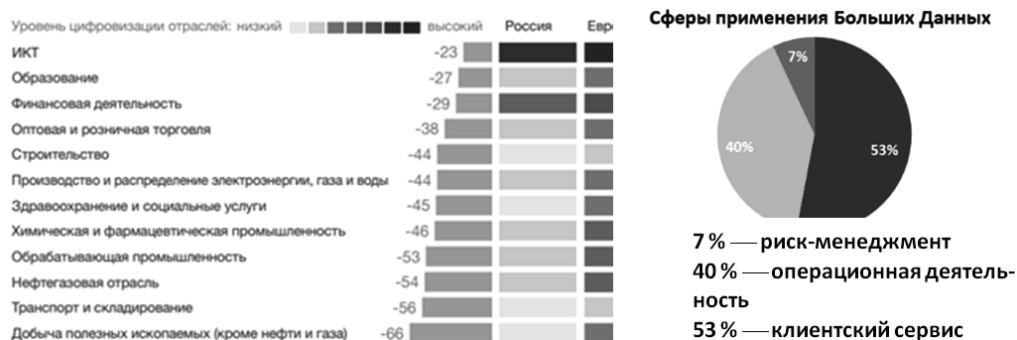


Рис. 1. Уровень (а) цифровизации отраслей [8] и (б) сферы применения BigData [9]
Fig. 1. The level of (a) digitalization of industries [8] and (b) the scope of BigData [9]

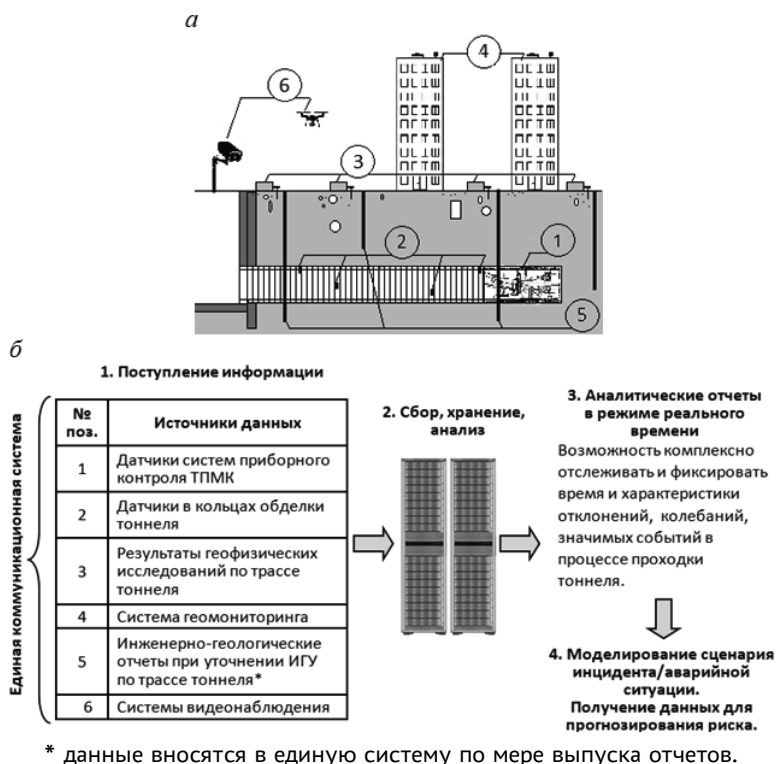


Рис. 2. Схема использования информации IoT для анализа рисков при проходке перегонного тоннеля метрополитена: а — схема продольного разреза при проходке с указанием источников данных, б — схема обработки полученной информации

Fig. 2. Scheme of IoT information for risk analysis while subway tunnel construction: a — the scheme of the longitudinal section during sinking with the indication of data sources, b — the scheme of processing the received information

Предложения по направлению будущих исследований

Можно выделить следующие направления дальнейших исследований по данной теме:

- разработка формы цифрового информационно-аналитического архива рисков при строительстве метрополитенов с использованием существующих или созданием новой СУБД, создание алгоритма работы с архивом;
- создание алгоритма совместного использования архива и BigData для получения совокупных статистических данных для оценки;
- разработка программ использования BigData от источников информации IoT при строительстве объектов метрополитена (перегонный тоннель, вертикальный ствол, эскалаторный тоннель, станция (сооружение) открытого или закрытого типа) для анализа геотехнических рисков.

Выводы

1. В условиях постоянно нарастающих тенденций к возрастанию геотехнического риска при строительстве объектов метрополитена широкие перспективы приобретает информационный ресурс BigData, который позволяет создавать модели управления технологической и эксплуатационной безопасностью на всех этапах жизненного цикла подземного сооружения.

2. Несмотря на достаточно низкий уровень цифровизации строительной отрасли в целом, для подземного стро-

ительства особый интерес в Big Data представляют BIM-технологии и технологии IoT. BIM-технологии позволяют осуществить достаточно быстрый анализ разнообразных данных о внешней среде, подбираемых технологических и конструктивных решениях, что, в итоге, дает возможность своевременно подобрать оптимальное решение по выявлению и минимизации потенциальных геотехнических рисков. Технологии IoT могут дать значительный объем информации для определения рискообразующих факторов, причин аварии/инцидента, сценариев развития аварийной ситуации.

3. В статье даны основные направления использования Big Data в качестве источника статистической информации о геотехнических рисках и их прогнозах при строительстве и эксплуатации объектов метрополитена.

4. Все аспекты использования технологий на основе Big Data имеют существенное прикладное значение для научно-педагогических школ, ведущих подготовку горных инженеров для освоения подземного пространства в городах, что расширяет сферу практического применения проведенных исследований [16 – 19].

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю проф., д.т.н. Куликовой Е.Ю. за помощь в проведении исследования и рекомендации при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V.* Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

2. *Куликова Е.Ю.* Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России. — Т.20. — № 3. — 2016. — С. 28 – 31.

3. *Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A.* Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>

4. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 8. — С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

5. *Скопинцева О.В., Баловцев С.В.* Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6–1. — С. 74–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

6. *Власов С.Н.* Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортно-тоннелей и метрополитенов / С.Н. Власов, Л.В. Маковский, В.Е. Меркин. — М.:ТИМР, 2000. — 197 с.

7. *Pwint Phyu Khine, Wang Zhao Shun.* Big Data for Organizations: A Review // Journal of Computer and Communications. Vol. 5, No. 3, 2017, pp. 40–48.

8. *Reis M., Gins G.* Industrial process monitoring in the Big data/Industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis // Processes. 2017, no 5, 35.

9. *Potapova E.V.* Expert-statistical approach to the analysis of geotechnical risks in the construction of metro facilities/ — OP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 962, International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) 6–12 September 2020, Sochi, Russia Citation E.V. Potapova 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 962 042052.

10. *Потанова Е.В.* Общие проблемы управления геотехническими рисками на примере строительства вертикальных стволов метрополитена в городе Москве // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 10. — С. 44–54. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-44-54.

11. Software User's Guide. Oracle Big Data Appliance. — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <https://docs.oracle.com/en/bigdata/big-data-appliance/5.1/bigug/concepts.html#GUID-26EBB1EB-3D08-4C65-8A37-ADAC1A6B92DD> (дата обращения: 10.06.2020).

12. An Enterprise Architect's Guide to Big Data Reference Architecture Overview- [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL <https://www.oracle.com/technetwork/topics/entarch/articles/oea-big-data-guide-1522052.pdf> (дата обращения: 10.06.2020).

13. *Сухобоков А.А., Лахвич Д.С.* Влияние инструментария Big Data на развитие научных дисциплин, связанных с моделированием // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Баумана. — 2015. — № 3. — С.207–240.

14. Аналитический обзор рынка Big Data. — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <https://habr.com/ru/company/moex/blog/256747/>(дата обращения: 10.06.2020).

15. Цифровая Россия: новая реальность (отчет компании McKinsey на 2017 год). — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/russia/our%20insights/digital%20russia/digital-russia-report.ashx> (дата обращения: 10.06.2020).

16. *Петров В.Л.* Подготовка горных инженеров-обогащителей в российских вузах // Цветные металлы. — 2017. — № 7. — С. 14–19. DOI: 10.17580/tsm.2017.07.02.

17. *Puchkov L.A., Petrov V.L.* The system of higher mining education in Russia // Eurasian Mining. 2017. No 2. Pp. 57–60. DOI: 10.17580/em.2017.02.14.

18. *Петров В.Л.* Федеральное учебно-методическое объединение «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия» — новый этап сотрудничества государства, академического сообщества и промышленности // Горный журнал. — 2016. — № 9. — С. 115–119. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.23.

19. Петров В.Л., Крупин Ю.А., Кочетов А.И. Оценка качества профессиональной подготовки специалистов для горно-металлургического комплекса: новые подходы // Горный журнал. – 2016. – № 12. – С. 94–97. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.19. **VIAB**

REFERENCES

1. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

2. Kulikova E. Yu. Assessment of polymer materials environmental compatibility in underground development. *Ecology and Industry of Russia*, 20 (3), pp. 28-31. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-3-28-31 [In Russ].

3. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201823901021>

4. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ].

5. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1): 74–83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

6. Vlasov S.N., Makovskiy L.V., Merkin V.E., Kuplis A.E., Skarabeev V.F., Torgalov V.V. *Avariynye situatsii pri stroitel'stve i ekspluatatsii transportnykh tonneley i metropolitenov. 2-e izd.* [Accidents in transportation and subway tunnels, 2nd edition], Moscow, TIMR, 2000, 198 p.

7. Pwint Phyu Khine, Wang Zhao Shun. Big Data for Organizations: A Review. *Journal of Computer and Communications*, Vol. 5. No. 3, 2017, pp. 40–48.

8. Reis M., Gins G. Industrial process monitoring in the Big data/Industry 4.0 era: From detection, to diagnosis, to prognosis. *Processes*. 2017, no. 5, 35.

9. Potapova E.V. Expert-statistical approach to the analysis of geotechnical risks in the construction of metro facilities. OP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 962, International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) 6–12 September 2020, Sochi, Russia Citation E.V. Potapova 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 962 042052

10. Potapova E.V. General problems of geotechnical risk management in terms of construction of vertical shafts in the Moscow subway. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(10):44–54. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-10-0-44-54

11. Software User's Guide. Oracle Big Data Appliance. [Electronic resource] Access mode – URL: <https://docs.oracle.com/en/bigdata/big-data-appliance/5.1/bigug/concepts.html#GUID-26EBB1EB-3D08-4C65-8A37-ADAC1A6B92DD> (request date: 10.06.2020).

12. An Enterprise Architect's Guide to Big Data Reference Architecture Overview [Electronic resource] Access mode URL <https://www.oracle.com/technetwork/topics/entarch/articles/oea-big-data-guide-1522052.pdf> (request date: 10.06.2020).

13. Sukhobokov A.A. Lakhvich D.S. Vliyaniye instrumentariya Big Data na razvitiye nauchnykh distsiplin, svyazannykh s modelirovaniyem. *Nauka i obrazovaniye: nauchnoye izdaniye MGTU im. Bauman* [Influence of Big Data tools on the development of scientific disciplines related to modeling. Science and Education: scientific publication of MSTU. Bauman's]. 2015, no 3, pp. 207–240. [In Russ].

14. Digital Russia: a new reality (2017 McKinsey report). [Electronic resource] Access mode. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/russia/our%20insights/digital%20russia/digital-russia-report.ashx> (request date: 10.06.2020).

15. Analytical review of the Big Data market. [Electronic resource]. Access mode. URL: <https://habr.com/ru/company/moex/blog/256747/> (request date: 10.06.2020).

16. Petrov V.L. Training of mineral dressing engineers at Russian Universities. *Tsvetnye Metally*. 2017, no. 7, pp. 14–19. DOI: 10.17580/tsm.2017.07.02. [In Russ].

17. Puchkov L.A., Petrov V.L. The system of higher mining education in Russia. *Eurasian Mining*. 2017. no. 2. pp. 57–60. DOI: 10.17580/em.2017.02.14.

18. Petrov V.L. Federal training and guideline association on applied geology, mining, oil and gas production and geodesy. A new stage of government, academic community and industry cooperation. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 9, pp. 115–119. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.23. [In Russ].

19. Petrov V.L., Krupin Yu. A., Kochetov A.I. Evaluation of professional education quality in mining and metallurgy: New approaches. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 94–97. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.19. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Потанова Е.В. – аспирант НИТУ «МИСиС», e-mail: elka23sp@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Potanova E.V., Post-graduate, Department “Construction of Underground Structures and Mining Enterprises”, NUST «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: elka23sp@yandex.ru.

Получена редакцией 09.07.2020; получена после рецензии 18.01. 2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 09.07.2020; received after the review 18.01. 2021; accepted for printing 01.02.2021.

